

石油化工 技术参考资料

气体压缩 氨合成 甲醇合成

工 艺 设 计

32

兰化公司化工设计院

毛主席语录

人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

洋为中用。

精心设计，精心施工。

认识从实践始，经过实践得到了理论的认识，还须再回到实践去。

说 明

根据石化部石油化工规划设计院安排的业务建设项目，由石化部化工设计院组织有关单位编写了《氮肥工艺设计手册》，以适应我国氮肥工业迅速发展的需要。由我院负责编写的气体压缩、氨合成和甲醇合成是属于整个“手册”内容的一部分。受“手册”编写组的委托，现由我院先行刊印，藉以广泛征求意见，再经修改后由石化部出版社出版。

本期内容包括气体压缩、合成氨和合成甲醇方面的工艺计算方法、数据、应用图表及主要设备的工艺计算和有关的催化剂等。本资料可供从事氮肥工艺设计、生产厂和大专院校有关人员参考。

由于我们水平所限，实践经验不足，疏漏及谬误之处，在所难免。希望广大读者不吝提出宝贵意见，以便修改时订正。

· 本 刊 ·

目 录

I 气体压缩

I-1 压缩机的种类及选用范围	1
一. 压缩机的分类和特点	1
二. 活塞式压缩机的区分	1
三. 透平式风机的区分	2
四. 各类压缩机的选用范围	2
图 1-1 各类压缩机的适用范围	2
I-2 活塞式压缩机功率和效率的计算	2
一. 功率计算	2
图 1-2 氮气的 ζ 、 β 和B值	3
图 1-3 氢气的 ζ 、 β 和B值	3
图 1-4 甲烷的 ζ 、 β 和B值	4
图 1-5 氢、氮混合气的 ζ 、 β 和B值	4
图 1-6 空气的 ζ 、 β 和B值	5
图 1-7 氧气的 ζ 、 β 和B值	5
图 1-8 乙烯的 ζ 、 β 和B值	6
图 1-9 常压吸气压缩 1 米 ³ /分气体时的理论耗功(吸入温度 $t = 20^\circ\text{C}$ 时)	6
图 1-10 氢氮混合气压缩功率计算	7
图 1-11 天然气压缩功率计算	7
图 1-12 CO ₂ 气压缩功率计算	8
图 1-13 空气压缩功率计算	8
图 1-14 吸入压力 $P_{\text{吸}}$ 压出压力 $P_{\text{出}}$ 与相对压力损失的关系平均数值(实线) 低数值(虚线)	9
图 1-15 指示功率损失 $\Delta C_{\text{uH}\delta}$ 与吸入压力的关系平均值(实线)低值(虚线)	10
图 1-16 指示功率损失 $\Delta C_{\text{uH}\delta}$ 与吸入压力的关系	10
表 1-1 某些气体绝热指数的平均值	10
表 1-2 某些气体的绝热指数 k	11
表 1-3 多变膨胀指数 m 值(平均压缩比 3 ~ 4 以下)	11
表 1-4 $\frac{k}{k-1}$ 的计算值(或 $\frac{m}{m-1}$)	11
表 1-5 不同多方指数时容积比值、温度比值和压力比值的关系	12
表 1-6 $\varepsilon^{\frac{k-1}{k}} - 1$ 值	13
表 1-7 $\frac{k-1}{Zk}$ 的计算值	13

表 1—8	$\left[\left(\frac{P_{\text{排}}}{P_{\text{吸}}}\right)^{\frac{k-1}{Zk}} - 1\right]$ 计算值	14
图 1—17	多段压缩时理论功率	14
图 1—18	最佳压力比的确定	14
图 1—19	等温效率与终了压力的关系曲线	15
图 1—20	等压力比分配与级数关系	15
图 1—21	最终压力、级数与各中间级名义压力选取关系	16
二.	压缩机的输气量和各种效率计算	17
表 1—9	吸入口毫米水银柱换算成标准状态的修正系数	17
表 1—10	吸入口大气压力换算成标准状态的修正系数	18
图 1—22	容积系数 λ_v 的计算	19
图 1—23	$m = 1.2$ 时, 容积系数及余隙与压缩比的关系	19
图 1—24	温度系数与压缩比的关系	19
图 1—25	H型四列对动式压缩机	21
I—3	活塞式冷冻压缩机的功率计算	21
一.	冷冻机的制冷能力与冷冻系数	21
表 1—11	氨压缩机的理论单位制冷能力 K_1	22
表 1—12	氨的单位容积制冷能力单位 q_v	23
表 1—13	氟利昂—12压缩机的理论单位制冷能力 K_1	24
表 1—14	氟利昂—12单位容积的制冷能力	25
二.	冷冻机的功率计算	26
表 1—15	制冷压缩机制冷循环的各点参数表	26
表 1—16	立式和V型氨压缩机的吸气系数 λ	27
表 1—17	立式和V型氨压缩机制冷量换算系数 K_2	28
表 1—18	立式和V型氟利昂—12压缩机的吸气系数 λ	29
表 1—19	立式和V型氟利昂—12压缩机制冷量换算系数 K_2	30
I—4	离心式压缩机工艺计算	31
一.	离心压缩机段数的确定和段压比的计算	31
图 1—26	压缩机的分段数 Z 与省功比 Δh 的关系	31
二.	离心压缩机的功率计算	32
图 1—27	多变能量头的关系	33
图 1—28	水力效率与进口流量的关系	33
三.	离心压缩机级数的决定与转速的计算	33
图 1—29	离心式压缩机估计的特性曲线(吸入温度为 40°C)	34
I—5	氢、氮混合气压缩机系列表	34
参考文献		39
I 氨合成		
I—1	氨合成反应的化学平衡与热效应	41
一.	低压下反应的平衡常数	41
表 2—1	常压下不同温度时的平衡常数 K_p^*	42

二.	加压下反应的平衡常数	41
表 2-2	不同压力下 β 与 I 值	41
表 2-3	按拉尔逊一道吉式计算出的不同压力下的 K_P 值	43
表 2-4	由实验数计算出的平衡常数 K_P 值	45
图 2-1	氨合成反应的 K_γ 值与压力和温度的关系	46
表 2-5	氨合成反应的 K_γ 值	46
表 2-6	按吉列斯皮一比梯式计算出的不同压力下的 K_P 值	48
三.	平衡氨浓度的计算	50
图 2-2	合成混合气 $H_2-N_2-NH_3$ 平衡时的列线图	52
图 2-3 a	混合气中平衡氨含量与温度、压力的关系 (压力 $P = 10-1000$ 大气压, 温度 $t = 200-550^\circ C$)	52
图 2-3 b	混合气中平衡氨含量与温度、压力的关系 (压力 $P = 0-800$ 大气压, 温度 $t = 200-700^\circ C$)	52
图 2-4	氢氮混合气及含有惰性气体时不同压力、温度下的平衡氨浓度	53
表 2-7	平衡氨浓度 ($H_2 : N_2 = 3 : 1$) $Z_{NH_3}^*$ (拉尔逊一道吉数据)	53
表 2-8	压力 $P = 1-1000$ 大气压、 $t = 300-640^\circ C$ 、 $H_2/N_2 = 3$ 无惰性气体存在时平衡氨浓度 $Z_{NH_3}^*$	54
表 2-9	压力 $P = 100-800$ 大气压、温度 $t = 344^\circ C-600^\circ C$ 无惰性气体存在时平衡氨浓度	56
表 2-10	平衡氨浓度 $Z_{NH_3}^*$ ($H_2 67.5\%$, $N_2 22.5\%$, $Ar 3\%$, $CH_4 7\%$)	58
表 2-11	含有惰性气体时, 不同压力下的平衡氨浓度 $Z_{NH_3}^*$	59
表 2-12	压力 $P = 320$ 大气压, 不同氢氮比时平衡氨浓度 $Z_{NH_3}^*$	64
表 2-13	平衡氨浓度与原始混合物组成之间的关系	65
图 2-5	在 300 大气压、 $500^\circ C$ 和不同氢氮气比值 ($H_2 : N_2$) 下氮氢混合物中的平衡氨浓度	65
四.	氨合成反应的热效应	65
表 2-14	不同温度下的反应热效应 Q° 值	66
表 2-15	纯 $N_2 : 3 H_2$ 气生成 $17.6\% NH_3 + 20.6\% N_2 + 61.8\% H_2$ 的混合热 Q_M	67
表 2-16	在 $500^\circ C$ 不同压力下的反应热 Q	68
表 2-17	不同压力下反应最后生成物成分为 $17.6\% NH_3 + 20.6\% N_2 + 61.8\% H_2$ 时反应热 Q	68
表 2-18	不同压力、温度下的反应热 Q	69
图 2-6	不同温度、压力下的氨合成反应热 (温度 $300-550^\circ C$)	85
图 2-7	不同温度、压力下的氨合成反应热 (温度 $0-700^\circ C$)	86
I-2	氨合成的动力学计算	86
一.	动力学方程式的应用形式及反应速度常数的计算	87
图 2-8	函数值 $\phi(t)$ 与温度及活化能的关系 ($t = 370-450^\circ C$)	93

图 2-9	函数值 $\varphi(t)$ 与温度及活化能的关系 ($t = 450-540^\circ\text{C}$)	93
表 2-19	$i_0 = 0.05$ 时函数 $F(Z_{eq})$ 与 Z_{eq} 之间的关系	94
表 2-20	$i_0 = 0.10$ 时函数 $F(Z_{eq})$ 与 Z_{eq} 之间的关系	94
表 2-21	$i_0 = 0.15$ 时函数 $F(Z_{eq})$ 与 Z_{eq} 之间的关系	94
表 2-22	$i = 0.05$ 时函数 $F(Z)$ 与 Z 之间的关系	95
表 2-23	$i = 0.10$ 时函数 $F(Z)$ 与 Z 之间的关系	95
表 2-24	$i = 0.15$ 时函数 $F(Z)$ 与 Z 之间的关系	95
表 2-25	$i = 0.05$ 时函数 $G(Z)$ 与 Z 之间的关系	95
表 2-26	$i = 0.10$ 时函数 $G(Z)$ 与 Z 之间的关系	95
表 2-27	$i = 0.15$ 时函数 $G(Z)$ 与 Z 之间的关系	96
表 2-28	温度 450°C 时不同压力的 k 值	96
表 2-29	不同压力下 A_6 、 A_9 型触媒反应速度常数 k 计算值	96
表 2-30	压力 300 公斤/厘米 ² 下 A_6 触媒的 k 值	96
表 2-31	压力 300 公斤/厘米 ² A_9 、 A_{10} 触媒的 k 值	97
图 2-10	A_6 、 A_9 型触媒速度常数与温度的关系	98
表 2-32	函数 $f(Z) = \frac{Z(1-Z)^{1.5}}{(1+Z)^3[L^2(1-Z)^4 - Z^2]}$ 值	99
表 2-33	积分值 $I(Z) = \int_0^Z \frac{Z(1-Z)^{1.5}dZ}{(1+Z)^3[L^2(1-Z)^4 - Z^2]}$	103
表 2-34	不同压力、温度下的 $I_z \cdot 10^3$ 值	108
图 2-11a	函数值 $f(Z)$ 与氨含量及平衡氨浓度的关系 ($Z_{eq} = 0.15 \sim 0.31$)	111
图 2-11b	函数值 $f(Z)$ 与氨含量及平衡氨浓度的关系 ($Z_{eq} = 0.32 \sim 0.37$)	111
图 2-11c	函数值 $f(Z)$ 与氨含量及平衡氨浓度的关系 ($Z_{eq} = 0.38 \sim 0.49$)	112
图 2-11d	函数值 $f(Z)$ 与氨含量及平衡氨浓度的关系 ($Z_{eq} = 0.50 \sim 0.60$)	113
图 2-12	积分值 $I(Z)$ 与混合气中氨含量及平衡氨含量的关系 ($Z = 5\% \sim 30\%$; $Z_{eq} = 12\% \sim 62\%$)	114
图 2-13a	积分值 $I(Z)$ 与混合气中氨含量及平衡氨含量的关系 ($Z = 2\% \sim 16\%$; $Z_{eq} = 22\% \sim 40\%$)	115
图 2-13b	积分值 $I(Z)$ 与混合气中氨含量及平衡氨含量的关系 ($Z = 6\% \sim 30\%$; $Z_{eq} = 22\% \sim 40\%$)	115
图 2-13c	积分值 $I(Z)$ 与混合气中氨含量及平衡氨含量的关系 ($Z = 16\% \sim 30\%$; $Z_{eq} = 22\% \sim 40\%$)	116
图 2-13d	积分值 $I(Z)$ 与混合气中氨含量及平衡氨含量的关系 ($Z = 6\% \sim 30\%$; $Z_{eq} = 42\% \sim 60\%$)	116
图 2-13e	积分值 $I(Z)$ 与混合气中氨含量及平衡氨含量的关系 ($Z = 18\% \sim 30\%$; $Z_{eq} = 42\% \sim 60\%$)	116
图 2-14a	压力 $P = 135$ 大气压, A_6 型触媒活性曲线 (温度 $t = 380^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$)	117
图 2-14b	压力 $P = 135$ 大气压, A_6 型触媒活性曲线 (温度 $t = 410^\circ\text{C} \sim 520^\circ\text{C}$)	118
图 2-15	压力 $P = 250$ 大气压, A_6 型触媒函数值 $\frac{1}{\gamma}$ 与温度的关系	119

图 2-16	压力 $P = 250$ 大气压, A_0 型触媒函数值 $\frac{1}{\gamma}$ 与温度的关系	120
图 2-17	压力 $P = 300$ 大气压, A_0 型触媒函数值 $\frac{1}{\gamma}$ 与温度关系	121
图 2-18	压力 $P = 300$ 大气压, A_0 型触媒函数值 $\frac{1}{\gamma}$ 与温度关系	122
二. 触媒内表面利用率的计算		
表 2-35	内表面利用率 ζ 与 Ψ 的关系	123
表 2-36	$-f'(y_{NH_3} \cdot S)$ 值 ($y_{I_0} = 0.1463$, $b = \frac{1 + y_{I_0}}{1 - y_{I_0}} = 1.343$)	124
表 2-37	不同粒度触媒的当量直径	124
表 2-38	一定气体成份下的压缩因子 Z	124
表 2-39	不同组份下的 $D_{NH_3}^\circ$ 值	125
表 2-40	不同温度下 M 值	125
表 2-41	压力 $P = 300$ 公斤/厘米 ² 下、不同温度下的内表面利用率 ζ	126
表 2-42	工业生产条件下触媒的内表面利用率 ζ	126
表 2-43	内表面利用率 ζ 计算参考值	127
三. 最适宜温度的计算		
表 2-44	在压力 $P = 300$ 公斤/厘米 ² , $H_2/N_2 = 3$, $y_{I_0} = 0.15$ 逆反应活化能 $E_2 = 41990$ 千卡/公斤·分子, 最适宜温度 $T_{适}$ 与平衡温度 T^* 之间的关系	127
四. 动力学计算的近似式		
I-3 氨合成系统的一般工艺计算		
一. 由新鲜气中惰性气体含量, 图解计算吹出气中 CH_4 和 Ar 的含量, 每生成一吨氨的吹出气量, 新鲜气消耗定额		
图 2-19	当 $a_{CB \cdot Ar} = 0.4\%$ 和 $30^\circ C$ 时 $a_{CB \cdot CH_4}$, $a_{np \cdot uH}$, $a_{np \cdot CH_4}$ 和 v_{np} 之间的关系	128
图 2-20	当 $a_{CB \cdot Ar} = 0.4\%$ 和 $30^\circ C$ 时 $a_{CB \cdot CH_4}$, $a_{np \cdot uH}$, $a_{np \cdot Ar}$ 和 v_{CB} 之间关系	129
二. 氨产量与合成率之间的关系		
图 2-21	氨产量与合成率之间关系	130
图 2-22	合成塔进气量与合成率的关系	130
三. 合成塔出口气体温度与合成率之间的关系		
图 2-23	合成塔进出口温差与合成率的关系	131
四. 当回收热量时, 合成塔最终出口气体温度与回收热量的关系		
图 2-24	回收热量与合成塔出口温度的关系	132
五. 中置式副产蒸汽合成系统出塔内一段换热器气体的最佳温度计算		
图 2-25a	塔最终出口温度为 $90.5^\circ C$ 时一次引出温度、副产蒸汽压力及气量的关系	134
图 2-25b	塔最终出口温度为 $100^\circ C$ 时一次引出温度、副产蒸汽压力及气量的关系	134
图 2-25c	塔最终出口温度为 $110^\circ C$ 时一次引出温度、副产蒸汽压力及气量的关系	134

图 2—25d 塔最终出口温度为120℃时一次引出温度、副产蒸汽压力及气量的关系	135
图 2—25e 塔最终出口温度为130℃时一次引出温度、副产蒸汽压力及气量的关系	135
图 2—25f 塔最终出口温度为140℃时一次引出温度、副产蒸汽压力及气量的关系	135
六. 不同温度、压力下合成混合气中饱和氨浓度	136
表 2—45 不同温度和压力下液氨上混合气体中的饱和氨含量	136
表 2—46 饱和氨浓度计算系数	136
表 2—47 混合气中饱和氨含量计算值 (-20℃, 0℃, 18℃)	136
图 2—26a 混合气中饱和氨含量与温度压力关系 (压力 $P = 200 \sim 400$ 大气压, 温度 $t = -15 \sim 95^\circ\text{C}$)	137
图 2—26b 混合气中饱和氨含量与温度、压力的关系 (压力 $P = 100 \sim 1000$ 大气压, 温度 $t = -30 \sim 70^\circ\text{C}$)	137
图 2—26c 混合气中饱和氨含量与压力、温度的关系 (压力 $P = 30 \sim 1000$ 大气压, 温度 $t = -20 \sim 40^\circ\text{C}$)	137
图 2—26d 在300大气压下, 冷凝后在气体中的氨浓度 (温度 $t = -30 \sim 50^\circ\text{C}$)	138
图 2—26e 混合气中饱和氨含量与温度、压力的关系 (压力 $P = 100 \sim 700$ 大气压, 温度 $t = -20 \sim 18^\circ\text{C}$)	138
七. 不同温度、压力下合成混合气中 ($3\text{H}_2 : \text{N}_2$) 饱和水蒸汽含量	138
表 2—48 不同温度、压力下混合气中饱和水蒸汽含量	138
图 2—27 压缩氮氢混合气中饱和水蒸汽含量	138
II—4 主要设备的工艺计算	139
一. 氨合成塔触媒层的计算: 氨产率、温度分布、触媒量	139
图 2—28 绝热反应时氨触媒层中温度与氨含量的关系	140
图 2—29 冷激式触媒层物料分布	142
图 2—30 出口氨含量与空速、产量、触媒用量的关系	143
图 2—31 合成系统不同净值时的比较	144
图 2—32 在300大气压、500℃时氨合成触媒产率与空速之间的关系	144
图 2—33 不同空速下有效转化系数	144
图 2—34 $\text{Nu} = 0.023 \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{0.4}$ 算图	146
图 2—35 冷管排列方案	146
表 2—49 冷管分布均匀度系数 β_i	147
二. 氨合塔内气体流动阻力的计算	147
表 2—50 K值与催化剂颗粒大小间关系	148
图 2—36 空间速度与压力降的关系 (压力 $P = 271$ 大气压, 温度 $t = 450^\circ\text{C}$)	148
图 2—37 空间速度与压力降的关系 (压力 $P = 550$ 大气压, 温度 $t = 520^\circ\text{C}$)	148
图 2—38 管壁影响的修正系数	148
图 2—39 摩擦系数与雷诺准数的关系	149
三. 开工加热器的计算	149
图 2—40 电炉功率、床层温度、出水率与时间的关系	150

表 2—51	电热元件单位表面容许负荷计算程序	151
图 2—41	电热元件的结构形式	152
图 2—42	燃料加热炉的结构形式	152
图 2—43	燃烧烟气量、理论空气量、燃料油低发热值及过剩空气系数的关系	153
图 2—44	燃料中 H/C 原子比和燃烧产物及其中 CO_2 及 H_2O 的含量关系	154
图 2—45a	单排光滑管水冷壁的角度系数	156
图 2—45b	直径不同的光滑管构成的单排水冷壁的角度系数	156
图 2—45c	双排光滑管水冷壁的角度系数	156
图 2—46	三原子气体的辐射减弱系数	157
图 2—47a	介质黑度与 $K P S^*$ 之间关系	157
图 2—47b	炉子黑度的求法	157
图 2—48	炉子黑度、理论燃烧温度与炉子出口处烟温关系	158
图 2—49	辐射给热系数与烟温及壁温的关系	159
图 2—50a	介质横向流过顺列光滑管束时的对流给热系数	161
图 2—50b	介质横向流过错列光滑管束时的对流给热系数	162
图 2—50c	空气及烟气作纵向流动时的给热系数	163
图 2—51a	燃用固体燃料(木材除外)时,对于错列管束的污染系数	164
图 2—51b	燃用固体燃料(木材除外)时,对于顺列管束的污染系数	165
图 2—51c	燃用固体燃料时,镶成横向鳍片的管束的污染系数	165
表 2—52	燃用液体燃料、气体燃料及木材时的污染系数	165
II—5	氨合成触媒	166
一.	氨合成触媒的基本组成、规格与使用条件	166
二.	触媒的活性与热稳定性	166
表 2—53	A_6 、 A_9 、 A_{10} 型触媒的活性	166
表 2—54	A_{10} 型触媒的耐热性	166
三.	触媒的物理性能	167
四.	触媒的还原及出水量的计算	167
五.	触媒的还原条件	168
表 2—55	A_6 型触媒还原条件	168
表 2—56	A_9 型触媒还原条件	168
表 2—57	A_{10} 型触媒还原条件	168
参考文献		169
III	甲醇合成	
III—1	甲醇合成反应的化学平衡	171
一.	常压下平衡常数表达式	171
表 3—1	常压下甲醇合成反应不同公式所表达的平衡常数计算值	172
表 3—2	埃魏尔 1940 年根据实验整理的平衡常数值	174
图 3—1	常压下平衡常数与温度的关系	174
二.	加压下的平衡常数	174
图 3—2	H_2 、 CO 及 CH_3OH 逸度系数	175
表 3—3	不同温度及压力下的 K_γ 值	176

图 3-3	$\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}$ 不同压力、温度下反应的 K_γ 值	175
图 3-4	不同压力、温度下 $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}$ 反应的逸度比	177
图 3-5	不同压力、温度下, $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}$ 反应的逸度比	178
表 3-4	在 $\text{H}_2/\text{CO} = 2$, 无惰性气时, 不同压力及温度下的 K_γ 值	179
表 3-5	不同压力、不同温度下的 K_P 值	181
表 3-6	100~120 大气压下, K_P 的实验值	184
图 3-6	压力 $P = 100 \sim 120$ 气压下, 平衡常数与温度关系 (实验结果)	184
表 3-7	江口式计算所得平衡常数	185
三.	合成反应的平衡甲醇浓度	184
表 3-8	在 $\text{H}_2/\text{CO} = 2$, 无惰性气时, 不同压力及温度下的 Z 值	186
表 3-9	不同氢、一氧化碳比、不同惰性气含量、不同温度及压力下的平衡甲醇浓度	188
四.	合成甲醇反应热效应	221
表 3-10	合成甲醇反应热效应	222
图 3-7	反应热与反应温度和压力的关系	221
图 3-8	在压力 $P = 300$ 大气压, 起始组成 $\text{H}_2/\text{CO} = 4 \sim 4.6$, 不同甲醇合成率时, 气体混合物的焓	221
表 3-11	CO 和 H_2 全部转化为甲醇时, 一定压力下不同温度的反应热	234
表 3-12	CO 和 H_2 没有全部转化为甲醇, 并考虑到混合热时, 一定压力下, 不同温度的反应热	234
II-2	甲醇合成反应的动力学计算	234
一.	巴米拉采夫—蒙科利诺夫—特拉贝尔方程	234
表 3-13	压力 $P = 250$ 大气压, 气体组成: $\text{CO} 26\%$; $\text{H}_2 68.5\%$; $\text{CO}_2 1.5\%$; $\text{N}_2 + \text{CH}_4 4\%$ 各种不同甲醇浓度下的 φ_m 和 $\frac{1}{(1 + 2y_m)^2 \varphi_m}$ 值	241
图 3-9	气体组成为 $\text{H}_2 65\%$; $\text{CO} 14\%$; $\text{CO}_2 1.0\%$; $\text{N}_2 + \text{CH}_4 20\%$ 时不同温度下 $\frac{1}{(1 + 2y_m)^2 \varphi_m}$ 值	236
表 3-14	压力 $P = 300$ 大气压, 气体成分: $\text{CO} 15.0\%$; $\text{H}_2 62.0\%$; $\text{CO}_2 8.0\%$; $\text{CH}_4 15.0\%$ 不同甲醇浓度, 不同温度下的反应速度 W	241
表 3-15	当空速 $V_0 = 20000 \text{时}^{-1}$, 图解积分得到的反应速度常数 K_T 值	242
表 3-16	压力 $P = 300$ 大气压, 气体成份: $\text{CO} 16.0\%$; $\text{H}_2 64.0\%$; $\text{CO}_2 1.5\%$; $\text{CH}_4 + \text{N}_2 18.5\%$; 不同甲醇浓度, 不同温度下的反应速度 W	242
图 3-10	$M-2$ 型触媒, 压力 $P = 300$ 大气压, 反应速度与温度和甲醇浓度的关系。进气组成: $\text{H}_2 60\%$; $\text{CO} 13\%$; $\text{CO}_2 0.7\%$; $\text{CH}_4 + \text{N}_2 26.3\%$	237
图 3-11	$M-2$ 型触媒, 压力 $P = 300$ 大气压, 甲醇合成反应速度与温度的关系。进气组成: $\text{H}_2 62\%$; $\text{CO} 15.0\%$; $\text{CO}_2 8\%$; $\text{CH}_4 15\%$	238
图 3-12	$M-2$ 型触媒, 压力 $P = 300$ 大气压, 反应速度的倒数与温度和甲醇浓度的关系。进气组成: $\text{H}_2 60\%$; $\text{CO} 13\%$; $\text{CO}_2 0.7\%$; $\text{CH}_4 + \text{N}_2 26.3\%$	239

图 3-13	M-2型触媒, 压力 $P = 300$ 大气压反应速度倒数与温度和甲醇浓度的关系。进气成份: $\text{CO} 15\%$; $\text{H}_2 62\%$; $\text{CO}_2 8.0\%$; $\text{CH}_4 15\%$	240
图 3-14	甲醇合成率与温度及反应速度关系.....	243
图 3-15	甲醇浓度与温度及反应速度的关系.....	243
二.	纳塔等用逸度来求合成甲醇反应速度.....	243
图 3-16	$\text{ZnO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ 触媒常数 A、B.....	243
图 3-17	$\text{ZnO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ 触媒常数 C、D.....	244
表 3-17	$\text{ZnO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ 触媒有效利用率.....	244
图 3-18	$\text{ZnO}-\text{CuO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ 触媒常数 K.....	244
图 3-19	$\text{ZnO}-\text{CuO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ 触媒常数 A、B.....	244
图 3-20	$\text{ZnO}-\text{CuO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ 触媒常数 C、D.....	245
三.	切尔尼契克-捷姆金方程式.....	245
III-3	甲醇合成的一般工艺计算.....	245
一.	塔出口甲醇浓度与入塔气量之间的关系.....	245
图 3-21	塔出口甲醇浓度与入塔气量之间的关系.....	246
二.	塔出口温度与甲醇合成率之间的关系.....	246
三.	塔后循环气吹出气量与新鲜气中惰性气体含量之间的关系.....	247
四.	冷凝温度与混合气中甲醇含量之间的关系.....	248
图 3-22a	混合气中甲醇含量随温度和甲醇分压的变化.....	249
图 3-22b	压力 $P = 300$ 大气压, 混合气中甲醇冷凝温度与含量的关系.....	249
图 3-23	混合气中甲醇含量与温度、压力的关系.....	249
五.	甲醇浓度与进气中 CO 含量间关系及 CO 转化率.....	250
表 3-18	气体中甲醇含量与克分子浓度之间关系.....	250
图 3-24a	气体中甲醇含量与克分子浓度之间关系.....	250
图 3-24b	进塔气中 CO 含量与其平衡转化率之间关系.....	250
图 3-24c	甲醇克分子浓度与 CO 转化率之间的关系.....	251
III-4	甲醇合成触媒.....	252
一.	甲醇触媒的类型.....	252
二.	主要性能.....	252
表 3-19	在 $P = 250$ 大气压(表压), 空速为 $20000 \sim 40000 \text{时}^{-1}$, 气体组成: $\text{CO}_2 1 \sim 2.5\%$; $\text{O}_2 0.2 \sim 0.5\%$; $\text{CO} 25.2 \sim 28.6\%$; $\text{H}_2 58.2 \sim 64.8\%$ 情况下的化学活性.....	252
图 3-25a	气体空速 40000时^{-1} , 压力 350 大气压不同温度下的触媒生产能力.....	253
图 3-25b	350 大气压, 温度 390°C , 不同空速下粒度 $0.5 \sim 1$ 毫米的触媒生产能力.....	253
图 3-25c	不同压力和温度下粒度 $0.5 \sim 1$ 和 $4 \sim 5$ 毫米的触媒生产能力对比关系.....	253
图 3-25d	不同压力和温度下, 空速 40000时^{-1} , 粒度 $0.5 \sim 1.0$ 毫米的触媒生产能力.....	253
表 3-20	粗甲醇的质量.....	252
三.	触媒的升温还原.....	254
表 3-21	触媒升温还原时升、降温速度、空间速度与出水速率.....	254

表 3—22 某厂甲醇触媒活化控制指标(触媒量4.6吨).....	255
图 3—26 某厂M—2型甲醇触媒升温还原曲线.....	255
■—5 工艺操作指标(设计指标).....	256
参考文献.....	257

I-1 压缩机的种类及选用范围

一. 压缩机的分类和特点

压缩机的分类			各种压缩机的特点
容积式压缩机	往复式	活塞式	主要是应用曲柄连杆机构把原动机的旋转运动变成活塞的往复运动, 这种压缩机有一个或几个活塞, 在带有进出口伐片的气缸内移动。应用最早和最广的一种机型, 适用范围从几个压力到1500大气压以上, 功率从几千瓦到几千千瓦。
		膜片式	是膜片在气缸内移动达到压缩气体的目的。这种机型的特点是能输送不允许泄漏的剧毒介质, 而压力和输气量都较小。
	回转式	液环式	有一个圆形多叶式转子, 在一个部分贮有封液的椭圆形外壳中旋转。该机型在实验室中使用较多, 功率较小, 最大在100千瓦左右, 每级的压差最大在25大气压。
		滑片式	在圆筒形的气缸内, 有一个偏心安置的转子, 转子上开有若干径向滑槽内置滑片, 当转子旋转时, 气体在滑片、外壳和转子的空隙中聚集并被压缩, 该机型压力低、效率低, 操作费用高, 易发生机械故障。用在小型、低压、间歇操作中。
		转子式	又称罗茨式, 有两个配对的相对向旋转的转子, 适用于低压(1大气压), 输气量中等, 效率较低。
		螺杆式	气缸成“8”字形, 内置两个转子——一对阴阳螺杆转子, 在机壳内旋转将气体不断压缩。排气压力中等, (国内到8大气压, 国外到40大气压) 输气量在25000米 ³ /时, 内泄漏大, 故效率低。
速度式压缩机	离心式	由主轴带动一个或多个叶轮高速旋转, 靠离心力的作用将气体加速, 经扩压器气体排出。	
	轴流式	在叶轮旋转时, 气体被轴向吸入、经过叶轮获得速度, 再轴向的排入固定的导叶, 进行扩压而提高气体压力。然后进入第二级、第三级……。适用于特大输气量, 低压压缩或鼓风机。	
	混流式	是离心式与轴流式相结合的一种压缩机, 它既有离心式的叶轮, 又有轴流式叶的叶片, 特性亦介于二者之间。可满足一些特殊用途。	
	喷射泵	它没有叶轮, 是靠一股具有压力的气体经喷嘴喷出时获得高的速度, 把喷嘴周围的气体也带着前进, 使其获得速度并经扩压管达到提高压力的目的, 如作为合成气体的循环压缩机。	

二. 活塞式压缩机的区分

排气压力 > 1000 公斤/厘米²

1. 按其排气的压力高低加以区分:

低压压缩机

排气压力 < 10 公斤/厘米²

中压压缩机

排气压力 10 ~ 100 公斤/厘米²

高压压缩机

排气压力 100 ~ 1000 公斤/厘米²

超高压压缩机

2. 按其消耗功率的大小区分:

微型压缩机 功率 < 10 千瓦

小型压缩机 功率 10 ~ 100 千瓦

中型压缩机 功率 100 ~ 500 千瓦

大型压缩机 功率 > 500 千瓦

3. 按其压缩机气缸中心线相对位置区分:

立式 气缸中心线与地面垂直;

卧式 气缸中心线与地面平行;

角式 气缸中心线彼此成一定角度。

三.透平式风机的区分

速度式压缩机除喷射泵外都是一种叶片旋转式机械,即可称为透平式压缩机。按压力的大小区分为:

通风机

出口压力 ≤ 1.5 公斤/厘米²(绝压)

鼓风机

出口压力 $1.5 \sim 3.5$ 公斤/厘米²(绝压)

压缩机

出口压力 > 3.5 公斤/厘米²(绝压)

四.各类压缩机的选用范围

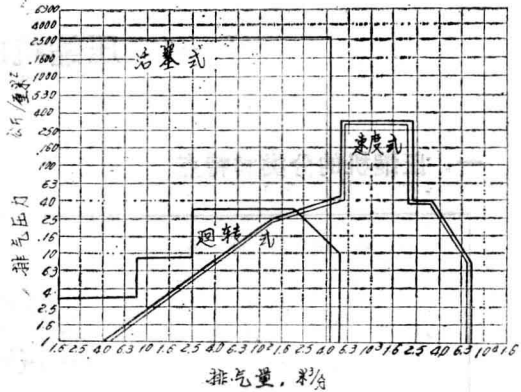


图1-1 各类压缩机的适用范围

I—2 活塞式压缩机功率和效率的计算

一.功率计算:

1.单级压缩的功率计算

理想气体的理论功率:

$$N_{理} = 1.634 P_{吸} V_{吸} \frac{m}{m-1} \left(\epsilon^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right) \text{千瓦} \quad (1-1)$$

实际气体的理论功率:

$$N_{理} = \frac{1.634 P_{吸} V_{吸}}{\xi_1} \left[\frac{m}{m-1} \left(\epsilon^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right) + \frac{273}{T_{吸}} (B_2 - B_1) \right] \text{千瓦} \quad (1-2)$$

式中

$P_{吸}$ ——吸入气体压力, 公斤/厘米²;

$V_{吸}$ ——吸入状态下的体积, 米³/分;

m ——多方指数;

ϵ ——压缩比, 即为 $\frac{P_{排}}{P_{吸}}$;

B_1, B_2 ——多余功指数, B_1 相应于 $P_{吸}$ 下的, B_2 相应于 $P_{排}$ 下的;

$$\text{或} \quad B_2 - B_1 = \frac{1}{6} (\beta_1 + 4\beta' + \beta_2) \cdot (P_{排} - P_{吸})$$

β_1, β_2, β' ——可压缩性误差指数, 相应于 $P_{吸}, P_{排}$,

$$P' = \frac{P_{吸} + P_{排}}{2} \text{以及温度 } T_{吸}, T_{排},$$

$$T' = \frac{T_{吸} + T_{排}}{2} \text{时的值。}$$

某些气体的 ξ, β 值与 B 值曲线见图1-2~1-8(1)。

如无 B 值曲线, 则实际气体的理论功率计算也可用下面简单公式计算

$$N_{理} = \frac{1.634 P_{吸} V_{吸}}{\xi_1} \cdot \frac{m}{m-1} \left(\epsilon^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right) \sqrt{\xi_1 \xi_2} \quad (1-3)$$

$$\text{或} \quad N_{理} = \frac{1.634 P_{吸} V_{吸}}{\xi_1} \cdot \frac{m}{m-1} \cdot \left[\epsilon^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] \cdot \frac{\xi_1 + \xi_2}{2} \text{千瓦} \quad (1-4)$$

式中

ξ_1, ξ_2 ——分别为吸气开始及压缩终了时的压缩系数。

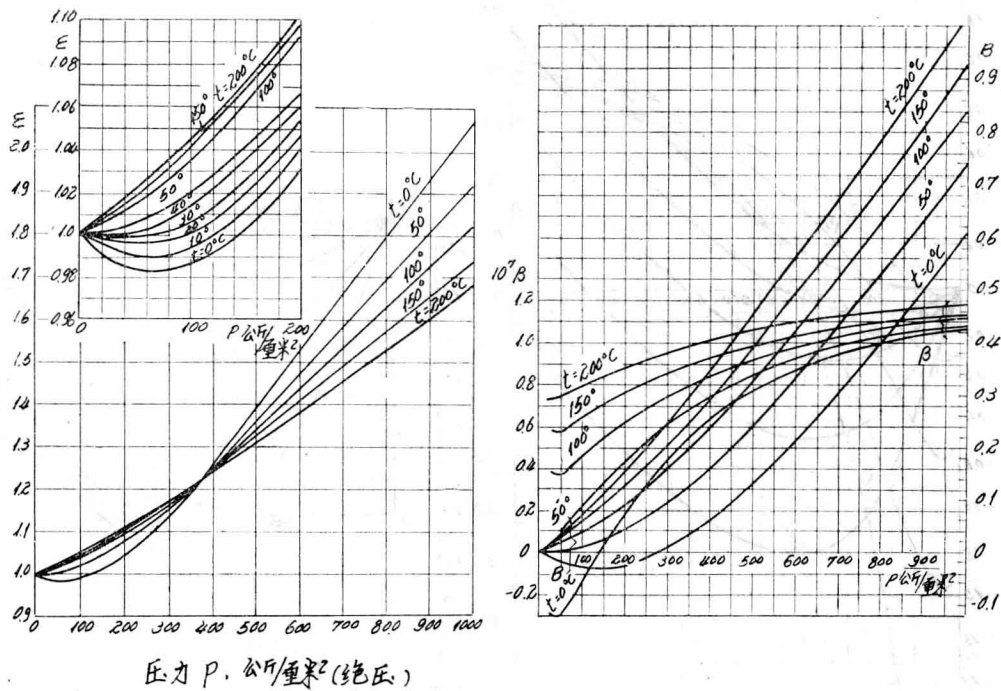


图1-2 氮气的 ζ , β 和 B 值

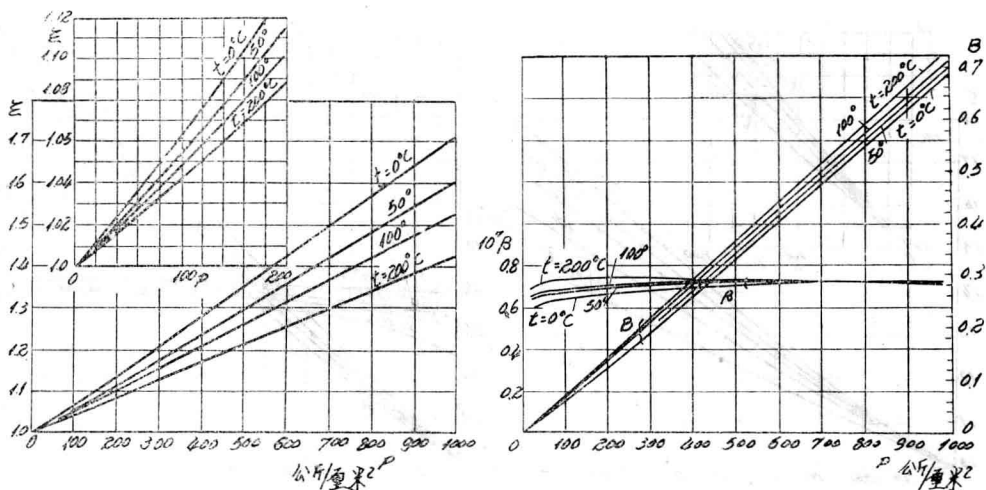


图1-3 氢气的 ζ , β 和 B 值

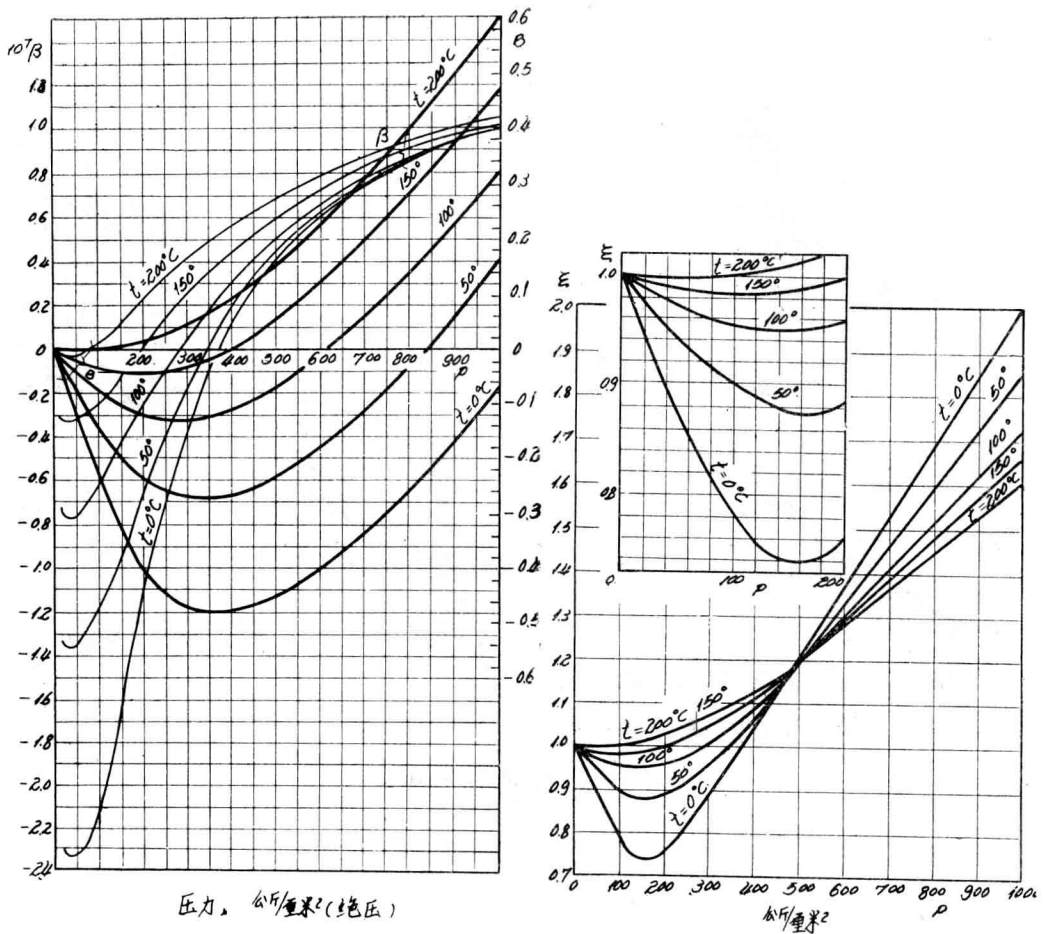


图1-4 甲烷的 ζ , β 和 B 值

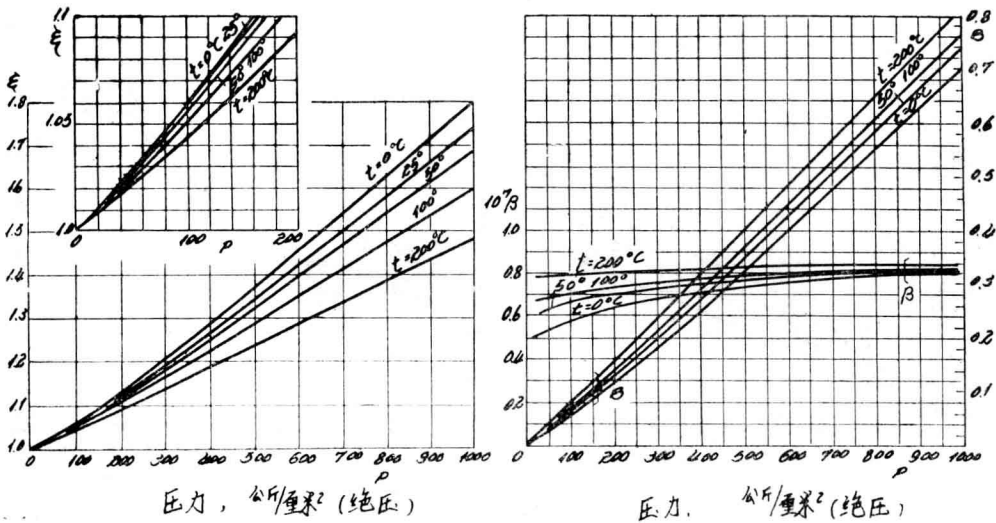


图1-5 氢、氮混合气的 ζ , β 和 B 值